

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Физико-технический
Направление – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ

УДК 004.415:621.3.011.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0711	Ильиных С.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Павлов В.М.	канд. техн. наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Д.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
Р2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.

P3	Самостоятельно, методически правильно применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
P5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области

	<p>профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.</p>
P8	<p>Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P9	<p>Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и</p>

	нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.
P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.

P12	<p>Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.</p>

P15	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.</p>
-----	---

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Физико-технический
Направление – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ
_____ А.Г. Горюнов
«03» октября 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0711	Ильиных С.А.

Тема работы:

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ
Утверждена приказом директора ФТИ от 31.10.2016 № 9286/с

Дата сдачи студентом выполненной работы	23 января 2017 г.
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Программное обеспечение должно определять гармонический состав и переходы через ноль напряжения питающей сети. Должен обеспечиваться вывод рассчитанных значений на экран и их передача по протоколу Modbus RTU.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор существующих устройств, нахождение методов определения гармонического состава и фильтрации сигнала, разработка алгоритмов и программ, экспериментальная проверка алгоритмов и программ на модели в программе Proteus
Перечень графического материала	Функциональная схема устройства, алгоритм программы.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент, Акимов Д.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03 октября 2016 г.
---	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Павлов В.М.			03.10.16

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0711	Ильиных С.А.		03.10.16

Реферат

Выпускная квалификационная работа 101 с., 47 рис., 26 табл., 16 источников, 2 прил.

БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ, СКОЛЬЗЯЩЕЕ СРЕДНЕЕ, ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЕ СГЛАЖИВАНИЕ, НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ, ГАРМОНИКИ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, БЛОК СИНХРОНИЗАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЕ СЕТИ.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке программного обеспечения многофункционального устройства анализа параметров силовых цепей.

Цель работы заключается в разработке программного обеспечения, которое определяет моменты переходов напряжения питающей сети через ноль, а также осуществляет контроль над показателями качества электрической энергии.

Разработанное программное обеспечение позволит в режиме реального времени следить за показателями качества электрической энергии, для своевременного включения компенсаторов реактивных мощностей, также определять моменты переходов напряжения питающей сети через ноль, для управления тиристорными преобразователями, питающими обмотки установки ТОКАМАК КТМ.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 13109—97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — Введ. 01.01.1989.

ГОСТ 12.2.024—87. ШУМ. ТРАНСФОРМАТОРЫ СИЛОВЫЕ МАСЛЯНЫЕ. Нормы и методы контроля.

В данной работе применены следующие сокращения:

казахстанский токамак материаловедческий; КТМ.

персональная электронно-вычислительная машина; ПЭВМ.

микроконтроллер; МК.

аналого-цифровой преобразователь; АЦП.

цифро-аналоговый преобразователь; ЦАП.

liquid crystal display, жидкокристаллический дисплей; LCD.

дискретное преобразование Фурье; ДПФ.

быстрое преобразование Фурье; БПФ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	16
1. Аналитический обзор	17
1.1 Актуальность работы	17
1.2 Несинусоидальность напряжения.....	18
1.2.1 Причины возникновения	18
1.2.2 Влияние на электрооборудование	20
1.3 Гармонический состав напряжения питающей сети	21
1.3.1 Происхождение гармоник	21
1.3.2 Эффекты, вызываемые гармониками	22
1.4 Сравнение разрабатываемого устройства с готовыми решениями.....	24
1.5 Нахождение гармоник напряжения питающей сети. Дискретное преобразование Фурье	27
1.5.1 Быстрое преобразование Фурье	29
1.6 Скользящее среднее и экспоненциальное сглаживание.....	30
2 Разработка программного обеспечения.....	32
2.1 Содержание раздела	32
2.2 Модель многофункционального устройства анализа параметров силовых цепей	32
2.3 Выбор метода фильтрации сигнала	33
2.3.1 Экспоненциальное сглаживание и скользящее среднее.....	33
2.4 Использование БПФ для определения перехода через ноль	36
2.4.1 Алгоритм фильтрации и определения переходов сигнала с помощью преобразования Фурье	36
2.4.2 Проверка алгоритма	37
2.5 Описание программы	38
2.5.1 Общие сведения.....	38
2.5.2 Блок-схема алгоритма программы.....	39
2.6 Пользовательские функции разработанные в ПО	41
2.6.1 Работа с АЦП	41

2.6.2	Работа с ЦАП	45
2.6.3	Работа с LCD LMD16L	48
2.6.4	Обработчики внешних прерываний	53
2.6.5	Функции быстрого прямого и обратного преобразования Фурье.....	54
2.6.6	Функции перестановки элементов массивов.....	56
2.6.7	Функции для передачи данных по протоколу Modbus.....	58
2.6.8	Программные коды для определения переходов через ноль, анализа показателей качества и их вывода на экран	60
3	Экспериментальная проверка программы	63
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
4.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	68
4.2	SWOT-анализ	69
4.3	Оценка готовности проекта к коммерциализации	70
4.4	Инициация проекта	72
4.5	План проекта	74
4.6	Бюджет научного исследования	77
4.6.1	Основная заработная плата	77
4.6.2	Накладные расходы.....	79
4.6.3	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	79
4.7	Реестр рисков проекта.....	82
4.8	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	83
5	Социальная ответственность	86
5.1	Введение	86
5.2	Характеристика вредных и опасных факторов, имеющих место на рабочем месте	86
5.3	Требования к микроклимату	87
5.5	Организация мероприятий по электробезопасности	89
5.6	Электромагнитное излучение.....	91
5.7	Требования к пожаробезопасности.....	91

5.8	Мероприятия по борьбе с производственным шумом.....	92
5.9	Требования по охране окружающей среды	93
5.10	Выводы по разделу.....	93
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	97
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	99
	Приложение Б. Презентация	на отдельных листах
	Титульный лист	
	Актуальность работы	
	Цели и задачи	
	Функциональная схема устройства	
	Сравнительный анализ с серийно выпускаемыми устройствами	
	Расчетные соотношения	
	Результаты работы программы выполняющей преобразование Фурье	
	Определение переходов через ноль. Скользящее среднее. Экспоненциальное сглаживание.	
	Определение переходов через ноль. Преобразование Фурье.	
	Алгоритм определения гармонического состава и переходов через ноль напряжения сети.	
	Модель устройства в программе Proteus	
	Результаты моделирования: фильтрация сигнала, вывод значений на экран	
	Результаты моделирования: определение переходов через ноль	
	Модель устройства для проверки Modbus RTU	
	Результаты моделирования: протокол Modbus RTU	
	Экономические затраты	
	Результаты работы	
	Диск CD-R.....	в конверте на обороте обложки
643.ФЮРА.00003-01 81 01	Пояснительная записка	ВКР. Файл
	Ильиных_ВКР.doc	

Презентация к ВКР. Файл Ильиных_ ВКР_презентация.pptx

Программное обеспечение. Файл Программа_Ильиных.rar

Модель устройства в программе Proteus. Файл Модель_Ильиных.rar

Введение

Мощные полупроводниковые преобразователи и другое силовое оборудование при своей работе оказывают влияние на форму питающего напряжения, внося различного рода искажения. Эти искажения должны контролироваться и в ряде случаев необходимо использование компенсаторов реактивной мощности для их устранения.

Управляемые тиристорные преобразователи вносят наибольшие искажения и в то же время должны быть синхронизированы с напряжением питающей сети. При наличии искажений может возрасти ошибка определения моментов времени перехода через «ноль» простыми измерителями, основанными на компараторах. По этой причине необходима разработка новых алгоритмов синхронизации.

					643.ФЮРА.00003-01 81 01					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Ильиных			Введение			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Павлов								
Консульт										
Н. Контр.		Ефремов								
Утверд.		Горюнов								
								ТПУ	ФТИ	16
								Группа	0711	

1. Аналитический обзор

1.1 Актуальность работы

На любом промышленном предприятии имеется большой парк разнообразного электротехнического оборудования (коммутационное оборудование, синхронные, асинхронные двигатели, частотно-регулируемые приводы, устройства плавного пуска, системы возбуждения мощных двигателей, генераторы напряжения средних и высоких частот, выпрямительные установки, сварочные станки и аппараты, индукционные и дуговые печи), которое создает в сети электроснабжения предприятия ряд проблем:

- потоки реактивной энергии;
- броски и провалы напряжения;
- протекание токов высших гармоник;
- перекос фаз и отклонение частоты;
- несимметрия напряжения по обратной и нулевой последовательностям;
- искажение формы напряжения;
- снижение коэффициента мощности;

Работа большого количества технологического оборудования сетей электроснабжения промышленных предприятий должна быть привязана к моментам перехода напряжения питающей сети через ноль (коммутационное оборудование, управляемые выпрямители и др.). Определение этих переходов с высокой точностью, в условиях различного вида помех и искажений напряжения питающей сети при питании нелинейных нагрузок является актуальной задачей.

					643.ФЮРА.00003-01 81 01					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Ильиных			Аналитический обзор			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Павлов								
Консульт										
Н. Контр.		Ефремов								
Утверд.		Горюнов								
								ТПУ	ФТИ	17
								Группа	0711	

1.2 Несинусоидальность напряжения

1.2.1 Причины возникновения

Несинусоидальность напряжения можно охарактеризовать следующими показателями [1]:

- коэффициентом искажения синусоидальности K_u , формула 1;
- коэффициентом n -ой гармонической составляющей $K_u(n)$, формула 2.

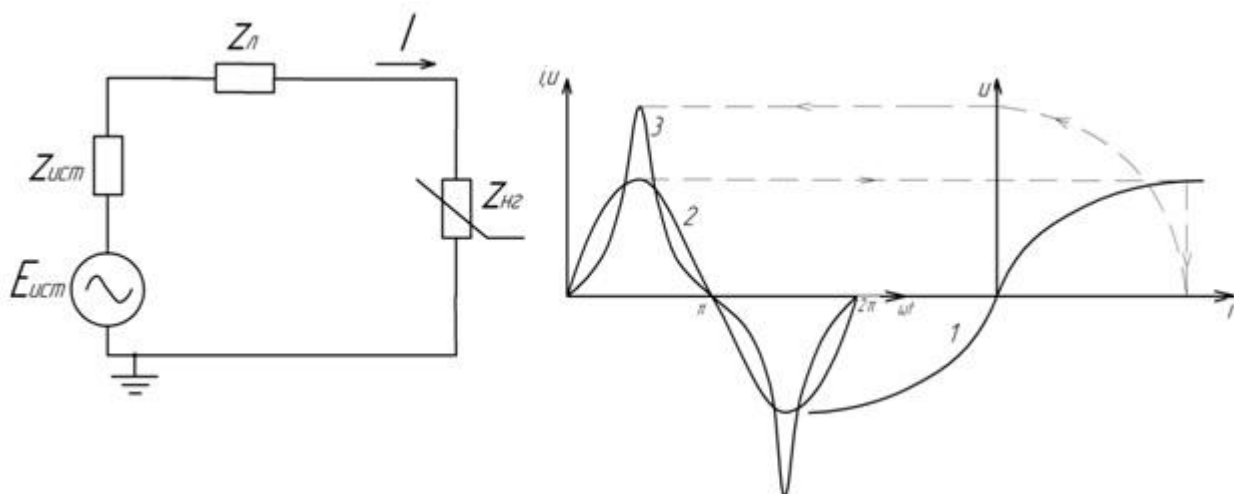
$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_1} \quad (1)$$

где U_n - действующее значение n гармонической составляющей напряжения, В;
 n - порядок гармонической составляющей напряжения,
 N - порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения, стандартом устанавливается $N=20$;
 U_1 - действующее значение напряжения основной частоты, В.

$$K_u(n) = \frac{U_n}{U_1} \quad (2)$$

где U_n - действующее значение n гармонической составляющей напряжения, В;
 n - порядок гармонической составляющей напряжения,
 U_1 - действующее значение напряжения основной частоты, В.

Возникновение высших гармонических составляющих в спектре питающего напряжения связано с применением электрооборудования с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Такое оборудование потребляет ток несинусоидальной формы, искажая синусоиду питающего напряжения, поэтому электрооборудование с нелинейной вольт-амперной характеристикой будет являться генератором высших гармоник тока. Пояснить это может рисунок 1.



1-вольт-амперная характеристика нелинейного сопротивления; 2-синусоидальное напряжение на нем; 3-ток через нелинейное сопротивление; $E_{ист}$ — э.д.с. источника; $Z_{ист}$ — внутреннее сопротивление источника; $Z_л$ -сопротивление питающих линий; $Z_{н2}$ -нелинейное сопротивление.

Рисунок 1 – Схема, поясняющая возникновение несинусоидальности в сети.

Прежде всего, источники искажения качества электрической энергии по несинусоидальности напряжения и тока стоит разделить на две группы: нелинейные электроприемники и нелинейные элементы сети. К первым в связи с широким внедрением современного электрооборудования в производство и быт сельского хозяйства можно отнести частотно — регулируемый привод, электронные выпрямительные устройства, люминесцентные лампы, газоразрядные лампы. Главной причиной искажений в коммунально-бытовом секторе являются электронные технические средства (телевизионные приемники, ПЭВМ), те же люминесцентные и газоразрядные лампы и др., которые создают небольшие гармонические искажения на выходе при своей работе, но таких ЭП немного. О приведенных выше электроприемниках, как источниках высших гармоник дано много публикаций.

К нелинейным элементам сети можно отнести силовые трансформаторы, реакторы, т.е. устройства имеющие нелинейную ветвь намагничивания — это трансформаторы.

1.2.2 Влияние на электрооборудование

Для оценки того, как влияют высшие гармоники на напряжение в сети, рассмотрим изменение напряжения на электроприемнике (рисунке 2).

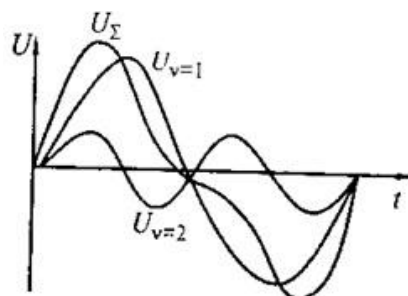


Рисунок 2 – Влияние напряжения высшей гармоники на результирующее напряжение сети

При возникновении в сети второй гармоники возрастет амплитудное и действующее значение напряжения.

Воздействие тока второй гармоники ($f=100\text{Гц}$) аналогично воздействию обратной последовательности, тока третьей гармоники ($f=150\text{Гц}$) – появлению нулевой последовательности. Возникновению гармоник с большим порядковым номером приводит к потере тепла (появление поверхностного эффекта), нагреву изоляции и уменьшению срока службы электрооборудования.

У несинусоидальных режимов недостатки такие же, как и у несимметричных. Несинусоидальность токов приводит к дополнительному нагреву электрических машин, увеличению диэлектрических потерь в конденсаторах.

Высшие гармоники приводят к нарушениям работы различных устройств (релейной защиты, автоматики, телемеханики). При воздействии высших гармоник возможны резонансные режимы, резкое возрастание токов и напряжений на отдельных участках цепи.

На рисунке 3 приведена осциллограмма, снятая на площадке ТОКАМАК КТМ, и показывает реальные искажения, возникающие при работе тиристорных выпрямителей, питающих обмотки управления ТОКАМАК.

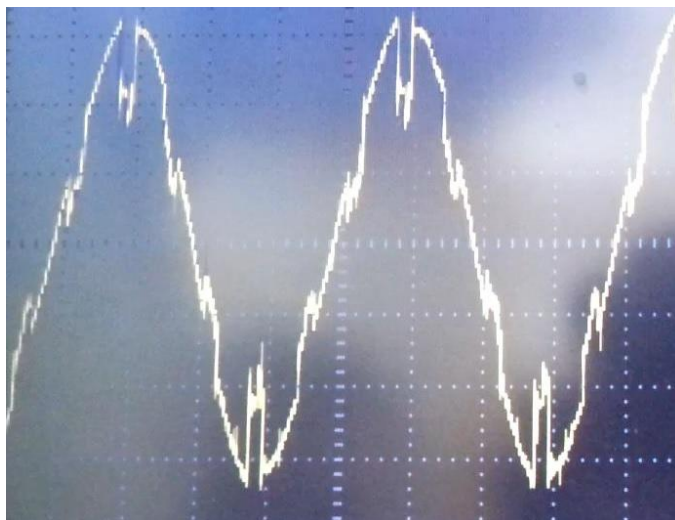


Рисунок 3 – Пример несинусоидального напряжения

1.3 Гармонический состав напряжения питающей сети

1.3.1 Происхождение гармоник

Во всех секторах экономики (промышленном, коммерческом и в жилищном хозяйстве) имеются устройства и системы которые порождают гармоники. Гармоники создаются нагрузками которые потребляют токи нелинейной формы, т.е формы отличающейся от формы волны напряжения сети.

Примеры нелинейных нагрузок [2]:

- промышленное оборудование (сварочные машины, электродуговые печи, индукционные печи и выпрямители);
- преобразователи частоты для асинхронных двигателей или двигателей постоянного тока;
- источники бесперебойного питания;

- офисное оборудование (компьютеры, фотокопировальные машины, факсимильные аппараты и др.);
- бытовые электроприборы (телевизоры, микроволновые печи, люминесцентные лампы);
- некоторые устройства с магнитным насыщением (трансформаторы).

1.3.2 Эффекты, вызываемые гармониками

Проблемы мгновенного возникновения включают [3]:

- Искажение формы питающего напряжения;
- Падение напряжения в распределительной сети;
- Наводки в телекоммуникационных и управляющих сетях;
- Повышенный акустический шум в электромагнитном оборудовании;
- Вибрация в электромагнитных системах.

Проблемы длительного возникновения включают [3]:

- Дополнительные потери в трансформаторах;
- Нагрев в трансформаторах и электрических машинах;
- Нагрев конденсаторов;
- Нагрев кабелей распределительной сети.

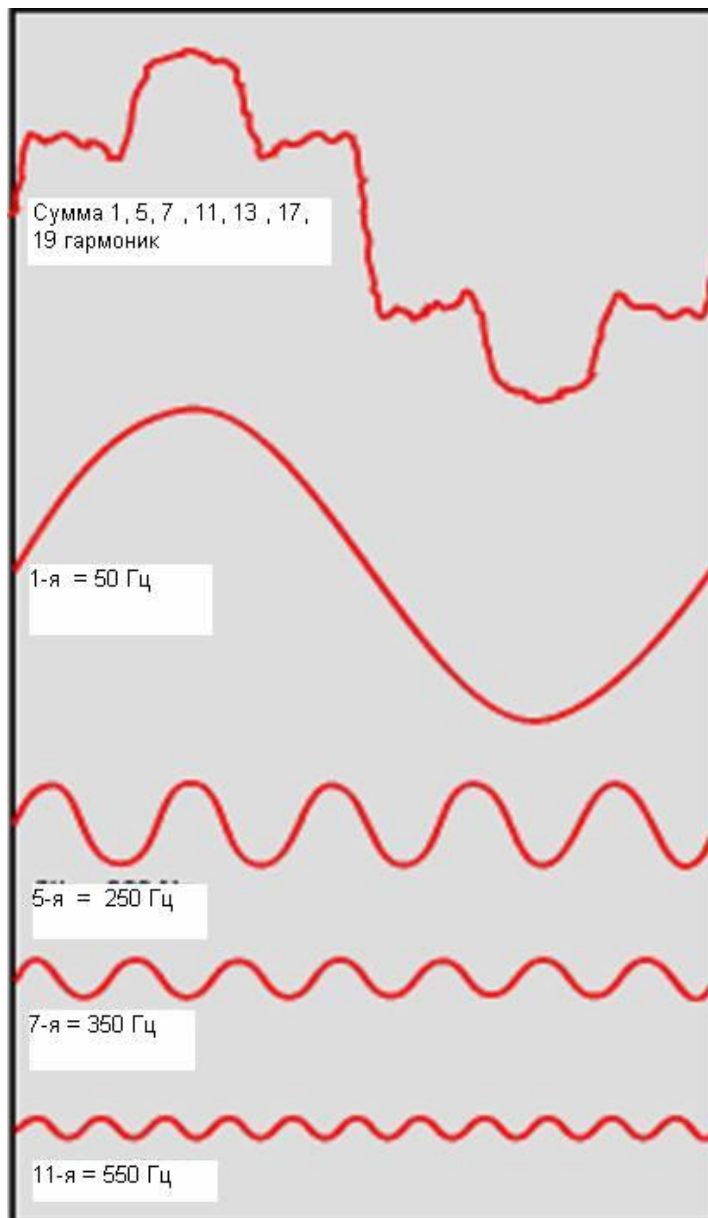


Рисунок 4 – Гармоники

Работа большого количества технологического оборудования сетей электроснабжения промышленных предприятий зависит от соответствия качества электроэнергии заданным нормам. При несоответствии показателей качества электрической энергии нормативным значениям, должным подключаться компенсаторы реактивных мощностей. В таблице 1 приведены нормативные значения коэффициентов n -ных гармонических составляющих, которые рассчитаны по формуле 2. Значение коэффициента искажения синусоидальности K_i не должно превышать 8%.

Таблица 1 – Значения коэффициентов n -ных гармонических составляющих

Значения коэффициента n -ной гармонической составляющей (в процентах)					
Нечетные гармоники, не кратные 3		Нечетные гармоники, кратные 3		Четные гармоники	
n	K_{Un}	n	K_{Un}	n	K_{Un}
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	1	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				

1.4 Сравнение разрабатываемого устройства с готовыми решениями

В настоящее время на кафедре электроники и автоматики физических установок разрабатывается многофункциональное устройство анализа параметров силовых цепей. Основные технические параметры, определяющие количественные и качественные характеристики продукции (в сопоставлении с существующими аналогами, в т.ч. мировыми) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение разрабатываемого устройства с аналогами.

Наименование параметра	Аналоги			Устройство анализа параметров цепей
	Alptec 2444	Lumel N14	LOVATO DMK	
Измеряемые и вычисляемые параметры: -гармоники напряжения -коэффициентом искажения синусоидальности K_u ; -коэффициентом n -ой гармонической составляющей $K_u(n)$.	+	+	+	+
Синхронизация по событиям, для целей управления преобразовательными комплексами	-	-	-	+
Анализ спектра, для включения компенсаторов реактивных мощностей	-	-	-	+
Поддержка интерфейсов передачи данных	USB, Ethernet	RS485 (Modbus RTU)	RS-485	RS485 (Modbus RTU)
Примечание: “+” - характеристика обеспечивается, “-” - характеристика не обеспечивается				

Готовые устройства позволяют только определять параметры сети. Они не позволяют производить анализ этих параметров в целях управления. Разрабатываемое multifunctional устройство анализа параметров силовых цепей, в отличие от готовых решений, обеспечивает синхронизацию по событиям, для целей управления преобразовательными комплексами, также анализ показателей качества электрической энергии, для управления компенсаторами реактивных мощностей. Разработка нового программного обеспечения целесообразна.

На рисунке 5 показана функциональная схема разрабатываемого устройства.

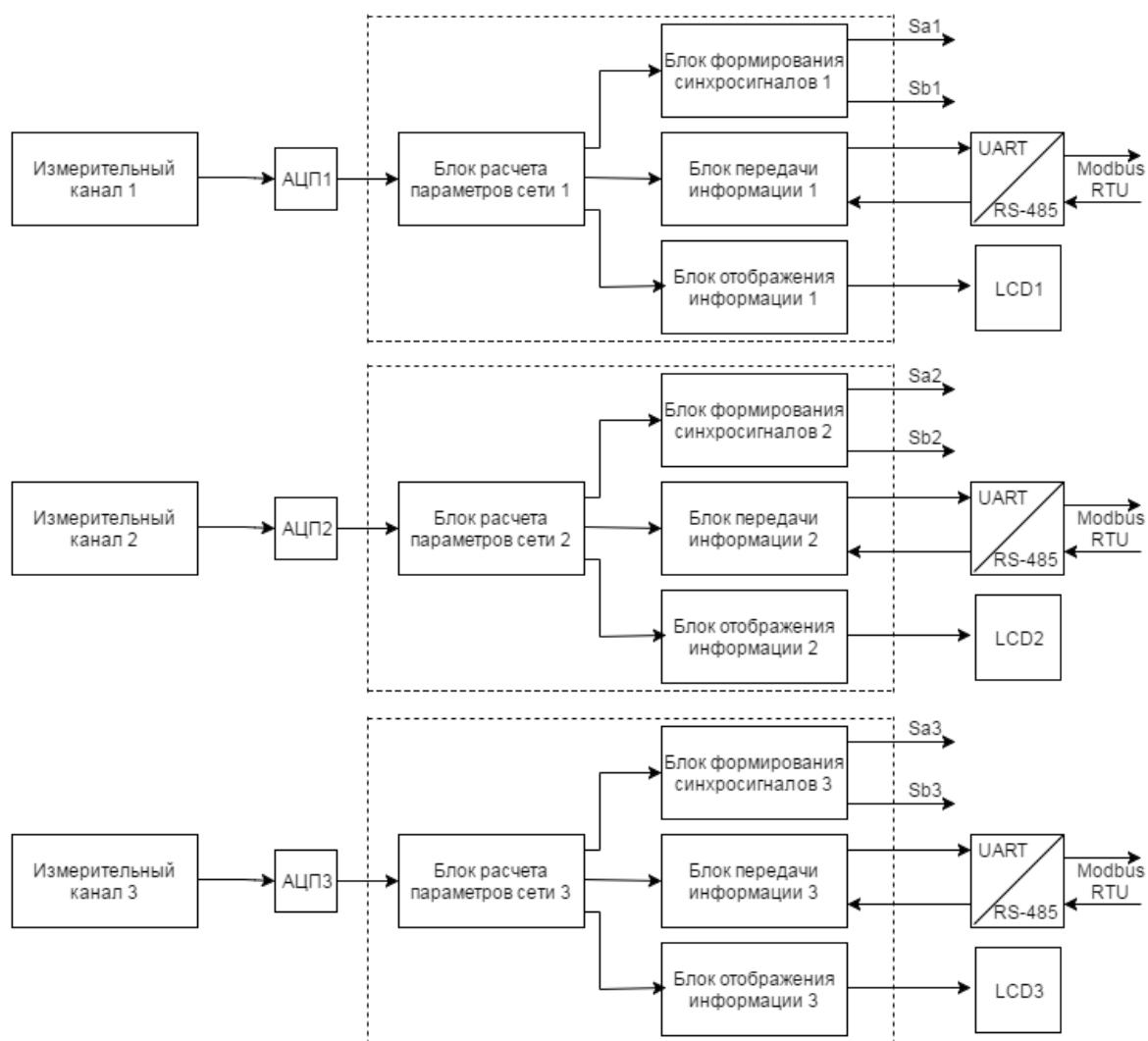


Рисунок 5 – Функциональная схема multifunctional устройства анализа параметров силовых цепей

Каждый канал измеряет одну фазу и обрабатывается на отдельном микроконтроллере. Оцифрованные значения поступают с АЦП на МК, на котором рассчитывается гармонический состав напряжения питающей сети, далее рассчитываются коэффициенты n -ных гармонических составляющих и коэффициент несинусоидальности напряжения, также выделяется первая гармоника напряжения питающей сети. По выделенной первой гармонике определяются моменты переходов напряжения питающей сети через ноль, формируется синхросигнал Sa . Показатели качества сравниваются с нормативными значениями и при их превышении формируется сигнал для компенсаторов реактивных мощностей Sb . Рассчитанные коэффициенты выводятся на экран, также передаются на ЭВМ оператора по протоколу Modbus.

1.5 Нахождение гармоник напряжения питающей сети. Дискретное преобразование Фурье

Для нахождения коэффициентов n -ных гармонических составляющих $Ku(n)$, которые сравниваются с заданными нормативными значениями представленными в таблице 1, нужно использовать дискретное преобразование Фурье.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) периодического дискретного сигнала $x(n)$ с периодом N определяется как [4]:

$$X(k) = X(k\Omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j \cdot (\frac{2\pi}{N}) \cdot n \cdot k}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

где $\Omega = \frac{2 \cdot \pi}{N \cdot T}$ - основная частота преобразования (бин ДПФ).

Выражение (3) можно переписать в виде

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W_N^{n \cdot k}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

где $W_N = e^{-j \cdot (\frac{2\pi}{N})}$ (5)

Коэффициент W_N называется поворачивающим множителем. Легко показать, что $W_N^{n \cdot k}$ является периодической функцией с периодом N

$$W_N^{(n+mN)(k+lN)} = e^{-j(\frac{2\pi}{N})(n+mN)(k+lN)} = e^{-j(\frac{2\pi}{N})nk} \quad (6)$$

Поэтому ДПФ $X(k)$ также является периодической функцией по аргументу k с периодом N .

Дискретное преобразование Фурье можно использовать для представления сигнала $x(n)$ конечной длины N , определенного при $n=0, 1, \dots, N-1$ и равного нулю вне интервала $[0, N-1]$. Действительно, такой сигнал можно рассматривать как один период соответствующего периодического сигнала и использовать преобразование (3). Следует только считать, что вне интервала $[0, N-1]$ $X(k)$ и $x(n)$ равны нулю.

Если сравнить ДПФ конечного дискретного сигнала со спектром этого же сигнала, определяемым выражением

$$X(e^{j\omega T}) = \sum_{n=0}^{\omega} x(n) \cdot e^{-j\omega n T} \quad (7)$$

то очевидно, что ДПФ представляет собой N отсчетов спектра, взятых на периоде с интервалом дискретизации по частоте, равным $\Omega = \frac{2 \cdot \pi}{N \cdot T}$.

В случае, когда $x(n)$ является комплексным, при прямом вычислении N -точечного ДПФ нужно выполнить для каждого значения k $(N-1)$ умножений и $(N-1)$ сложений комплексных чисел или $4(N-1)$ умножений и $2(N-1)$ сложений действительных чисел. Для всех N значений $k=0,1,\dots,N-1$ требуется $(N-1)^2$ умножений и $N(N-1)$ сложений комплексных чисел. Для больших значений N (порядка нескольких сотен или тысяч) прямое вычисление ДПФ по выражению (7) требует выполнения весьма большого числа арифметических операций умножения и сложения, что затрудняет реализацию вычислений в реальном масштабе времени [4].

1.5.1 Быстрое преобразование Фурье

Быстрым преобразованием Фурье (БПФ) называют набор алгоритмов, реализация которых приводит к существенному уменьшению вычислительной сложности ДПФ. Основная идея БПФ состоит в том, чтобы разбить исходный N -отсчетный сигнал $x(n)$ на два более коротких сигнала, ДПФ которых могут быть скомбинированы таким образом, чтобы получить ДПФ исходного N -отсчетного сигнала [5].

Так, если исходный N -отсчетный сигнал разбить на два $N/2$ -отсчетных сигнала, то для вычисления ДПФ каждого из них потребуется около $(N/2)^2$ комплексных умножений. Тогда для вычисления искомого N -отсчетного ДПФ потребуется порядка $2(N/2)^2 = N^2/2$ комплексных умножений, то есть вдвое меньше по сравнению с прямым вычислением. Операцию разбиения можно повторить, вычисляя вместо $(N/2)$ -отсчетного ДПФ два $(N/4)$ -отсчетных ДПФ и сокращая тем самым объем вычислений еще в два раза. Выигрыш в два раза является приблизительным, поскольку не учитывается, каким образом из ДПФ меньшего размера образуется искомое N -отсчетное ДПФ [5].

Существует большое количество алгоритмов БПФ. Однако все они являются частными случаями единого алгоритма, базирующегося на задаче

разбиения одного массива чисел на два. Тот факт, что это можно сделать более чем одним способом, определяет многообразие алгоритмов БПФ.

1.6 Скользящее среднее и экспоненциальное сглаживание

В работе была проведена оценка применимости скользящего среднего и экспоненциального сглаживания для фильтрации сигнала с последующим определением переходов через ноль. Ниже представлены расчетные соотношения для этих двух методов.

Скользящее среднее — функция, значение которой находится как среднее из значений за предыдущий период. Используется для сглаживания различных колебаний. Скользящее среднее можно рассматривать как фильтр низких частот.

Вычисляется по формуле:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} = \frac{p_t + p_{t-1} + \dots + p_{t-i} + \dots + p_{t-n+2} + p_{t-n+1}}{n} \quad (8)$$

где SMA_t — значение функции в момент времени t ;

n — количество значений за предыдущий период;

p_{t-i} — значение функции в момент времени $t-i$.

Экспоненциальное среднее определяется следующей формулой:

$$EMA_t = \alpha \cdot p_t + (1 - \alpha) \cdot EMA_{t-1} \quad (9)$$

где EMA_t - значение функции (экспоненциального среднего) в момент времени t ,

EMA_{t-1} - значение функции (экспоненциального среднего) в момент времени $t-1$,

p_t - значение сглаживаемой функции в момент времени t ,

α - коэффициент сглаживания, принимает значение от 0 и до 1.

4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Продолжение таблицы 10

4 Возможность подключения в сеть ЭВМ	10 %	3	2	0,3	0,2
5 Простота использования	5 %	4	2	0,2	0,1
6 Помехоустойчивость	5 %	5	3	0,25	0,15
7 Безопасность	5 %	4	3	0,2	0,15
8 Предполагаемый срок эксплуатации	4 %	3	3	0,12	0,12
9 Проведение эксперимента в предельных режимах работы	4 %	5	3	0,2	0,12
10 Обслуживание при эксплуатации	2 %	5	3	0,1	0,06
Итого	100 %	44	26	3,87	2,65

По итогам таблицы 9 видно, что конкурентоспособность разрабатываемого программного обеспечения $K=3,87$ выше чем конкурентоспособность готового продукта $K=2,65$. Отсюда можно сделать вывод о целесообразности разработки нового программного обеспечения.

Как видно из таблицы 9, наиболее значимыми критериями являются точность определения моментов времени и требования к ресурсам памяти. Предлагаемое программное обеспечение позволяет получить большую точность определения переходов напряжения питающей сети через «ноль», а также осуществлять контроль показателей качества питающей сети. Другими не менее важными критериями являются функциональные возможности и возможность подключения к ЭВМ оператора.

4.2 SWOT-анализ

Для объективного оценивания конкурентоспособности и перспектив развития разработки необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, которые могут повлиять на разработку. SWOT-анализ позволит сформировать направление, в котором необходимо работать, чтобы повысить конкурентоспособность научной разработки.

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними. Матрица представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Повышение точности.</p> <p>С2. Контроль за качеством электроэнергии.</p> <p>С3. Возможность повышения качества электроэнергии.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Трудоемкость.</p> <p>Сл2. Необходимость в высокопроизводительном МК.</p>
<p>Возможности проекта:</p> <p>В1. Использование для полупроводниковых преобразователей.</p> <p>В2. Возможность использования на ТОКАМАКе КТМ</p>	<p>Продавать ПО на предприятия где используется оборудование большой мощности.</p>	<p>Использование микроконтроллера с большей тактовой частотой процессора.</p>
<p>Угрозы проекта:</p> <p>У1. Отказ от исследований на ТОКАМАКе КТМ.</p>	<p>Использование для множества предприятий, где нужен контроль за показателями качества электроэнергии.</p>	<p>Поиск новых покупателей.</p>

4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На любой стадии жизненного цикла проекта полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации. Для этого необходимо оценить степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика (таблица 12).

Таблица 12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
Определены перспективные направления коммерциализации задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма задела для представления на рынок	1	1
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
Проработаны вопросы финансирования научной разработки	1	1
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
ИТОГО БАЛЛОВ	33	31

Исходя из оценок степени готовности проекта к коммерциализации видно, что проект имеет низкую степень готовности. По вопросам маркетинговых исследований, финансирования коммерциализации, необходимо привлечение в команду проекта специалистов из данных областей. Проект не готов к коммерциализации.

4.4 Инициация проекта

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта отображены в таблице 13.

Таблица 13 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НЯЦ РК	Готовое программное обеспечение для многофункционального устройства анализа параметров силовых цепей.
ТПУ, кафедра ЭАФУ	Публикация статей о разработке новых алгоритмов и программ для определения переходов напряжения сети через ноль, а также контроля за показателями качества электроэнергии.

В таблице 14 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.

Таблица 14 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Разработка программного обеспечения для многофункционального устройства анализа параметров силовых цепей;
Ожидаемые результаты	Программное обеспечения для многофункционального устройства анализа параметров силовых цепей;

Продолжение таблицы 14

Критерии приемки результата проекта	Работоспособность ПО.
Требования к результату проекта	<p>Выполнение всех требуемых функций;</p> <p>Должен осуществляться анализ параметров питающей сети;</p> <p>На основе анализа должны выдаваться управляющие сигналы;</p> <p>Должны определяться переходы напряжения питающей сети с точностью не ниже одного электрического градуса.</p>

Рабочая группа проекта отображена в таблице 15.

Таблица 15 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
Павлов В.М., ТПУ, кафедра ЭАФУ, доцент	Научный руководитель	Консультирование, определение задач, контроль выполнения.	72
Ильиных С.А., ТПУ, кафедра ЭАФУ, студент	Инженер (дипломник)	Анализ литературных источников, разработка алгоритма, разработка программы.	696

Таблица 16 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	—
Источник финансирования	—
Сроки проекта	27.01.2017
Дата утверждения плана управления проектом	03.10.2016
Дата завершения проекта	27.01.2017
Прочие ограничения и допущения	—

4.5 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта, который может быть представлен в виде линейного графика или диаграммы Ганта.

Линейный график представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Количество, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление технического задания	4	27.06.16	30.06.16	Павлов В.М.
2	Изучение литературы	20	1.07.16	20.07.16	Ильиных С.А.
3	Разработка алгоритма определения и анализа гармонического состава	20	21.07.16	10.08.16	Ильиных С.А.
4	Разработка программы определения и анализа гармонического состава	26	11.08.16	16.09.16	Ильиных С.А.
5	Разработка алгоритма определения моментов перехода напряжения через ноль	20	17.09.16	7.10.16	Ильиных С.А.
6	Разработка программы определения моментов перехода напряжения через ноль	30	8.10.16	7.11.16	Ильиных С.А.

Продолжение таблицы 17

7	Проведение экспериментов	22 8	8.11.16	30.11.16	Ильиных С.А., Павлов В.М.
---	--------------------------	---------	---------	----------	------------------------------------

Календарный план в виде диаграммы Ганта представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Диаграмма Ганта

Код работ ы	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				июн	июл			авг			сен			окт			ноя		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление ТЗ	Руководитель	4																
2	Изучение литературы	Дипломник	20																
3	Разработка алгоритма определения и анализа гармонического состава	Дипломник	20																
4	Разработка программы определения и анализа гармонического состава	Дипломник	26																
5	Разработка алгоритма определения моментов перехода напряжения через ноль	Дипломник	20																
6	Разработка программы определения моментов перехода напряжения через ноль	Дипломник	30																
7	Проведение экспериментов	Руководитель, Дипломник	22																



– Руководитель



– Дипломник

4.6 Бюджет научного исследования

4.6.1 Основная заработная плата

Данный раздел включает в себя расчет основной заработной платы научных и инженерно-технических работников. Расходы определяются из трудоемкости выполняемых работ.

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле 11:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{РАБ}} \quad (11)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника;

$T_{\text{РАБ}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 12:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (12)$$

где $З_{\text{м}}$ – оклад работника;

M – количество месяцев работы без отпуска в год;

$F_{\text{д}}$ – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Оклад руководителя составляет 26300 рублей.

Оклад дипломника составляет 7483,58 рублей.

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{дн}}^{\text{Рук}} = \frac{34190 \cdot 10,4}{299} = 1189,22 \text{ рублей.}$$

Среднедневная заработная плата дипломника:

$$З_{\text{дн}}^{\text{Дип}} = \frac{9728,65 \cdot 10,4}{299} = 338,39 \text{ рублей.}$$

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел. дн.	З/п на одного чел. в дн., р	Всего з/п, р
Составление задания на ВКР	Руководитель	4	1189,22	4756,88
Изучение литературы	Дипломник	17	338,39	5752,63
Разработка алгоритма определения и анализа гармонического состава	Дипломник	17	338,39	5752,63
Разработка алгоритма определения и анализа гармонического состава	Дипломник	21	338,39	7106,19
Разработка алгоритма определения и анализа гармонического состава	Дипломник	17	338,39	5752,63
Разработка алгоритма определения и анализа гармонического состава	Дипломник	25	338,39	8459,75
Проведение экспериментов	Дипломник	19	338,39	6429,41
	Руководитель	8	1189,22	9513,76
Итого				53523,88

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб	T _р , раб. дн	З _{осн} , руб
Руководитель	26300	0.6	0.4	1,3	34190	1189,22	12	14270,64
Дипломник	7483,58	0.6	0.4	1,3	9728,65	338,39	116	39253,24

4.6.2 Накладные расходы

Основным потребляемым сырьем в данной научной разработке является потребление электроэнергии компьютером. Расчета стоимости потребляемой электроэнергии определяется по формуле (13).

$$C_{\text{ээ}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М \quad (13)$$

где 6 – 6 часовой рабочий день,

Д – продолжительность работ,

Т – тариф на электроэнергию,

М – мощность, потребляемая ноутбуком.

По техническим характеристикам, ноутбук потребляет 90 Вт электроэнергии. Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии составляет 5,8 рублей. Значит, за 6-ми часовой рабочий день затраты на работу ноутбука составят: $6 \cdot 1 \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} \cdot 90 = 3,13$ р.

4.6.3 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данном разделе включают затраты на приобретение специального оборудования для проведения работ. В качестве затрат на спецоборудование

следует отнести ноутбук, который использовался как средство разработки. При приобретении спецоборудования необходимо учесть амортизацию.

Для расчета амортизации используем линейный метод формула (14).

$$K = \left(\frac{1}{n} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

где K – норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости объекта амортизируемого имущества,

n – срок полезного использования данного объекта амортизируемого имущества, выраженный в месяцах.

Пусть срок полезного использования равен 5 лет. Тогда $(1/60) \cdot 100\% = 1,67\%$. Месячная амортизация равна $15000 \cdot 0,0167 = 250,5$ р. Тогда сумма амортизации на период разработки проекта равна $250,5 \cdot 5 = 1252,5$ руб.

Таблица 21 – Затраты на специальное оборудование для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Цена ед. оборудования, р	Общая стоимость оборудования, р
Ноутбук SAMSUNG R538	1	15000	1252,5

Таблица 22 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Основная з/п	Отчисления на соц. нужды (30%)	Затраты на спецоборудование	Накладные расходы на электроэнергию	Итого себестоимость
1	4756,88	1427,06	1252,5	12,52	6196,46
2	5752,63	1725,9		53,21	7531,74
3	5752,63	1725,9		53,21	7531,74
4	7106,19	2131,86		65,73	9303,78
5	5752,63	1725,9		53,21	7531,74
6	8459,75	2537,93		78,25	11075,93
7	15943,17	4782,95		59,47	20785,59
Итого					71209,48

4.7 Реестр рисков проекта

Риски проекта – возможные события, которые могут негативно повлиять на проект.

Таблица 23 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Изменения требований заказчика	Переделывание проекта	4	3	средний	Периодически переговариваться с заказчиком	Изменения в строительстве термоядерной установки
Завершение исследований на ТОКАМАК КТМ.	Прекращение работы установки	2	5	низкий	Узнавать новости о политике в Казахстане для дальнейшего планирования работ	Смена приоритетов правительства РК

4.8 Оценка сравнительной эффективности исследования

Для оценки эффективности исследования нужно рассчитать интегральный показатель эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением финансовой эффективности I_{ϕ}^p и ресурсоэффективности I_m^p .

Стоимость исполнения разрабатываемого проекта составляет 80479,06 рублей. Максимальную стоимость исполнения научно-исследовательского проекта примем равной 600000 рублей – цена за программное обеспечение аналога.

Интегральный финансовый показатель разработки I_{ϕ}^p определяется по формуле (15):

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (15)$$

где Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги), тогда

$$I_{\phi}^p = \frac{71209,48}{600000} = 0,119 \quad (16)$$

Интегральный финансовый показатель аналога I_{ϕ}^a определяется по формуле (17):

$$I_{\phi}^a = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (17)$$

$$I_{\phi}^a = \frac{600000}{600000} = 1 \quad (18)$$

Интегральные показатели ресурсоэффективности рассчитаны по таблице 24.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности	0,25	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	4	3
3. Помехоустойчивость	0,1	5	3
4. Энергосбережение	0,1	5	4
5. Надежность	0,2	5	5
6. Материалоемкость	0,1	5	4
Итого	1	29	23

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 4,75 \quad (19)$$

$$I_m^a = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 3,85 \quad (20)$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ определяется по формуле (21):

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} \quad (21)$$

$$I_{финр}^p = \frac{4,75}{0,119} = 39,92 \quad (22)$$

Интегральный показатель эффективности аналога $I_{финр}^a$ определяется по формуле (23):

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (23)$$

$$I_{финр}^p = \frac{3,85}{1} = 3,85 \quad (24)$$

Сравнительная эффективность проекта \mathcal{E}_{cp} определяется по формуле (25):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (25)$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{39,92}{3,85} = 10,37 \quad (26)$$

Результаты расчетов сравнительной эффективности проекта приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Сравнительная эффективность проекта

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,119
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,85	4,75
Интегральный показатель эффективности	3,85	39,92
Сравнительная эффективность проекта	10,37	